HNO

Originalien

HNO 2019 · 67:373–378
https://doi.org/10.1007/s00106-019-0619-5
Online publiziert: 14. Februar 2019
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019

F. Sommer[1] · A.-S. Grossi[1] · M. O. Scheithauer[1] · T. K. Hoffmann[1] · F. Stupp[1] · H. R. Briner[2] · J. Lindemann[1]

[1] Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, Universitätsklinikum Ulm, Ulm, Deutschland

[2] Klinik Hirslanden, Zürich, Schweiz

Negative Auswirkungen der Streifenconchotomie auf die intranasale Klimatisierung

Hintergrund und Fragestellung

Operationen an den unteren Nasenmuscheln werden häufig als ergänzende Maßnahme routinemäßig im Rahmen von funktionellen Nasenoperationen durchgeführt. Im Laufe des letzten Jahrhunderts wurden viele verschiedene Operationstechniken zur „Verkleinerung" der Nasenmuscheln beschrieben [1]. Unterschieden werden

- thermische und Radiofrequenzverfahren sowie
- chirurgisch-resezierende Verfahren.

Jede Technik hat Vor- und Nachteile. Allerdings führen ausgedehnte Resektionen an der unteren Muschel nicht selten zu einem Empty-Nose-Syndrom [1–3]. Bei der Auswahl der bevorzugten Technik müssen die physiologischen Funktionen der unteren Muscheln im Rahmen der intranasalen Klimatisierung berücksichtigt werden. Zu diesen gehören die Regelung des Atemwiderstands und damit die Verteilung der eingeatmeten Luft auf den Querschnitt der Nase (Diffusor) sowie Oberflächenvergrößerung der Mukosa, Verkleinerung des nasalen Volumens, Bildung von Spalträumen, Befeuchtung und Erwärmung der einströmenden Luft. Ausgedehnte Resektionen an den Nasenmuscheln beeinflussen sämtliche dieser Funktionen negativ, wie in numerischen Simulationen der intranasalen Luftströmung und Klimatisierung veranschaulicht wurde [4, 5]. Radikale Operationen der Nasenmuscheln sollten heute nur noch bei Neoplasien in diesem Bereich erfolgen [6].

Trotzdem wird auch heutzutage immer noch, teilweise routinemäßig, im Rahmen von funktionellen Nasenoperationen die „Streifenconchotomie" durchgeführt. Diese hat neben einem erhöhten Blutungsrisiko mit starker Krustenbildung und einem prolongierten Heilungsverlauf negative Auswirkungen auf die intranasale Luftströmung und die Klimatisierung der eingeatmeten Luft [7]. Bei diesem Verfahren wird die untere Nasenmuschel zunächst gequetscht und ein Mukosastreifen inklusive des mukösen Anteils des Muschelkopfs mit der Septumschere reseziert (**Abb. 1 und 2**). Je nach Ausmaß der Resektion werden auch die kaudalen Anteile des Os turbinale entfernt. Der kaudale Schleimhaut- und Schwellkörperanteil der Muschel wird unabhängig davon reseziert. Die Beliebtheit dieses Verfahrens beruht vermutlich auf der schnellen Durchführbarkeit. Allerdings bleibt der negative Einfluss auf die Verteilung der Luft in der Nase meist unbeachtet.

Bislang wurden keine numerischen Simulationen mittels Computational Fluid Dynamics (CFD) zur nasalen Luftströmung, Temperatur- und Feuchteverteilung der Luft nach einer Streifenconchotomie veröffentlicht.

Das Ziel dieser numerischen Studie war es, die Auswirkungen einer Teilresektion der unteren Nasenmuschel im Sinne einer Streifenconchotomie auf die nasale Luftströmung, die Temperatur- und Feuchtigkeitsverteilung während eines Atemzyklus mittels CFD zu untersuchen. Diese sind in der Lage, die Auswirkungen von Muschelresektionen auf die Strömungsdynamik in der Nasenhöhle zu visualisieren [8–11]. Hierzu wurde eine Computertomographie (CT) der Nasennebenhöhlen eines Patienten verwendet, bei dem 2 Jahre zuvor extern eine einseitige Teilresektion der unteren Muschel erfolgt war.

Studiendesign und Untersuchungsmethoden

Modellbeschreibung

Aus diesem CT-Datensatz eines Patienten mit Zustand nach einseitiger Streifenconchotomie wurde ein dreidimensionales virtuelles Modell der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen konstruiert.

Wie in **Abb. 3** zu erkennen ist, war bei dem Patienten eine partielle Resektion der unteren Muschel auf der rechten Seite inklusive eines Teils des Muschelkopfs durchgeführt worden. Das Nasenseptum zeigte sich gerade, die restlichen Nasenmuscheln waren normal konfiguriert. Die Schleimhaut wies keine Anzeichen einer chronischen Sinusitis auf. Der CT-Scan wurde durchgeführt, um eine chronische Sinusitis aufgrund einer typischen Beschwerdesymptomatik auszuschließen. Die CT-Untersuchung wurde an einem Siemens-Somatom-Definition-CT-Scanner (Fa. Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Deutschland) mit einer Schichtdicke von 0,6 mm durchgeführt.

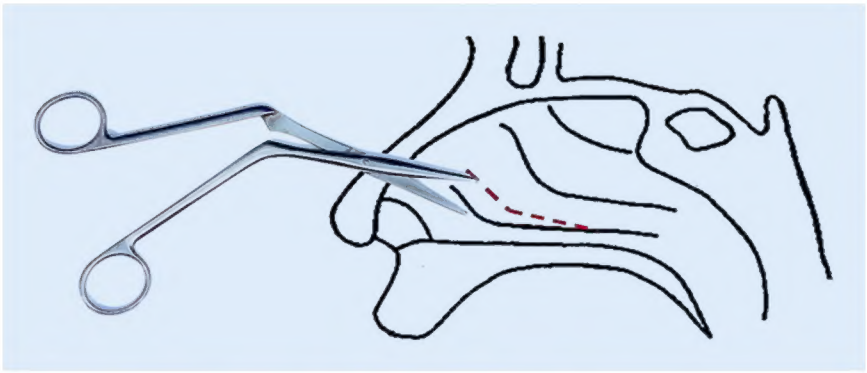

Abb. 1 ▲ Streifenconchotomie mit Resektion des Muschelkopfs und eines Schleimhautstreifens durch eine Schere entlang der *gepunkteten Linie*

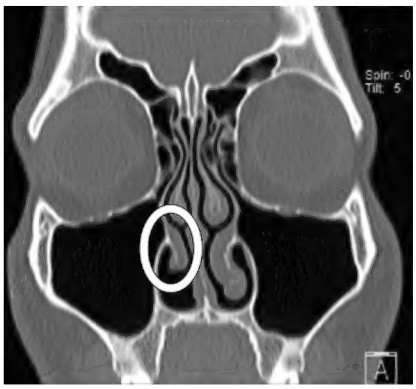

Abb. 3 ▲ Computertomographie-Scan eines Patienten mit Zustand nach einseitiger Teilresektion der unteren Muschel rechts (*weißer Kreis*)

Software und Modellerstellung

Die freie Open-Source-Software ITK-SNAP (V. 3.0.0) wurde für die Segmentierung des CT-Datensatzes verwendet. Ein virtuelles Netz mit 3,1 Mio. Zellen wurde um das Oberflächenmodell herum erzeugt. Mit dem CFD-Solver Fluent (ANSYS Workbench 14, ANSYS, Inc., Canonsburg, PA, USA) wurde die numerische Simulation durchgeführt.

Die Randbedingungen der Simulationen basierten auf Ergebnissen von eigenen In-vivo-Messungen der Arbeitsgruppe der Autoren. Verschiedene statische Geschwindigkeiten des Nasenluftstroms wurden simuliert und analysiert. Die Simulation erfolgte in einem transienten Setting. Eigene In-vivo-Messungen wurden als Grundlage für die im virtuellen Modell verwendeten Randbedingungen herangezogen [4, 5]. Der Atmungszyklus wurde durch den in- und exspiratorischen Druck am Nasopharynx definiert. Eingeatmete Luft hatte eine Temperatur von 20 °C und 30 % relative Feuchtigkeit, Ausatemluft 37 °C Temperatur und 100 % relative Luftfeuchtigkeit. Ein kompletter Atemzyklus dauerte 4,2 s. Die Inspiration beanspruchte 2 s, die Exspiration 2,2 s.

Ergebnisse

Die Strömungsverteilung, die Lufttemperatur und die Feuchtigkeit in der Nasenhaupthöhle sind zum Zeitpunkt von 1,6 s am Ende der Inspiration durch Schnittebenen dargestellt (◘ **Abb. 4**).

Hinsichtlich der Luftgeschwindigkeit wurde ein deutlicher Unterschied zwischen der nichtoperierten linken Nasenhöhle und der rechten mit partieller Resektion der unteren Muschel festgestellt. Auf der linken Seite fand sich eine homogene Geschwindigkeitsverteilung in der Nasenhöhle mit einer moderaten maximalen Geschwindigkeit von bis zu 1,5 m/s. Die rechte Seite zeigt eine deutlich erhöhte Geschwindigkeit in einer röhrenartigen Formation im Bereich des ehemaligen Kopfs und des Körpers der unteren Muschel mit einer Geschwindigkeit von bis zu 2 m/s. Zudem ist die Strömungsgeschwindigkeit in den oberen Teilen der Nasenhöhle im Vergleich zur nichtoperierten Seite deutlich geringer. Dieser röhrenartige Luftstrom ist noch im im nasopharyngealen Bereich deutlich sichtbar (◘ **Abb. 4**, Bild oben rechts).

Während der Inspiration erwärmt die Schleimhaut der lateralen Nasenwand und des Nasenseptums die einströmende kühle Luft. Über die gesamte Fläche des Nasenmodells wurde eine deutliche

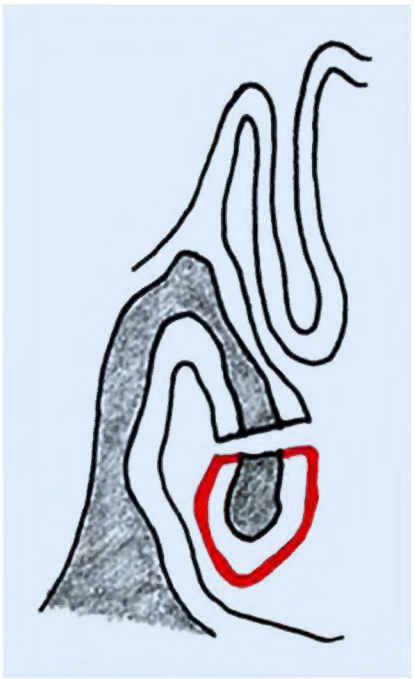

Abb. 2 ▲ Koronare schematische Zeichnung des Resektionsbezirks einer Streifenconchotomie (hier mit Einbeziehung eines Teils des Os turbinale). (Aus [18], mit freundl. Genehmigung des Georg Thieme Verlags, Stuttgart)

Zunahme der Lufttemperatur in der Nähe der Nasenwand festgestellt. Die Nasenmuscheln sind für einen großen Teil des Wärmeaustauschs während der Inspiration verantwortlich. Es ließ sich ein deutlicher Unterschied der Lufttemperaturverteilung zwischen der linken, nichtoperierten Seite und der rechten mit partieller Resektion der unteren Muschel nachweisen, der sich bis in den Nasenrachen auswirkt. Der Temperaturanstieg entlang des unteren Nasengangs war im Vergleich zur Gegenseite deutlich geringer. Das kühle Zentrum des Luftstroms vergrößerte sich auf der rechten Seite im Vergleich zur linken Seite. Diese asymmetrische Temperaturverteilung ließ sich bis in den Nasopharynx darstellen.

Fast identisch zur Messung der Luftverteilung und -temperatur wurde ein deutlicher Unterschied der intranasalen Feuchtigkeit zwischen der rechten und der linken Nasenhaupthöhle nachgewiesen. In der linken Nasenhöhle verlief die Luftströmungsgeschwindigkeit homogen, die Lufttemperatur in der Mitte des Luftstroms erreichte höhere Werte,

und in der Nähe der Wand wurde ein höherer Feuchtigkeitsgehalt ermittelt. Auf der rechten Seite verursachte die Teilresektion der unteren Muschel einen „röhrenartigen" unteren Nasengang. Der Luftstrom in diesem Bereich ist deutlich schneller und die Temperatur ist im Zentrum des Luftstroms kühler. Zusätzlich sinkt die Befeuchtung der eingeatmeten Luft von annähernd 100 % auf etwa 80 %, was noch im nasopharyngealen Bereich Auswirkungen zeigt.

Diskussion

Die chronische Nasenatmungsbehinderung, bedingt durch eine hypertrophe untere Nasenmuschel, kann durch verschiedene Techniken von Muschelplastiken therapiert werden [12]. Daher ist die Muschelplastik eine sehr häufig durchgeführte operative Prozedur. Oft erfolgt diese standardmäßig im Rahmen von funktionellen Nasenoperationen.

Computational Fluid Dynamics sind aktuell die einzige Möglichkeit, hochauflösende Analysen der Strömungs-, Temperatur- und Feuchtigkeitsverteilung in der Nase durchzuführen. Es handelt sich um Simulationen bzw. Näherungen, die auf Rechenmodellen basieren, welche in der Industrie seit vielen Jahren standardmäßig eingesetzt werden. Dass der Einsatz im rhinologischen Bereich möglich ist und valide Ergebnisse liefert, wurde durch zahlreiche Publikationen belegt [13–17].

Bei den hier präsentierten Ergebnissen handelt es sich um die Analyse *eines* virtuellen realistischen Modells. Der vorliegende Fall wurde ausgewählt, da durch einen externen HNO-Arzt-Kollegen eine einseitige Streifenconchotomie durchgeführt wurde, ansonsten aber annähernd symmetrische Befunde vorlagen und zusätzlich zur Abklärung sinusitischer Beschwerden eine CT der Nasennebenhöhlen existierte. Trotz „nur" eines Falls sind die numerischen Ergebnisse aufgrund der symmetrischen Befunde der Nasenhaupthöhle geeignet, die Auswirkungen auf die Durchströmung der Nase insgesamt zu zeigen.

Wie **Abb. 5** zeigt, ist durch die rechtsseitige Streifenconchotomie ein sichtbar erhöhter Atemflow im Vergleich zur

Zusammenfassung · Abstract

HNO 2019 · 67:373–378 https://doi.org/10.1007/s00106-019-0619-5
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019

F. Sommer · A.-S. Grossi · M. O. Scheithauer · T. K. Hoffmann · F. Stupp · H. R. Briner · J. Lindemann

Negative Auswirkungen der Streifenconchotomie auf die intranasale Klimatisierung

Zusammenfassung

Ziel. Die partielle Resektion des kaudalen Anteils der unteren Nasenmuschel einschließlich des Nasenmuschelkopfs ist ein nach wie vor anzutreffendes Verfahren in der Rhinochirurgie („Streifenconchotomie"). Ausgedehnte Resektionen der Nasenmuschel beeinträchtigen allerdings den nasalen Luftstrom und die intranasale Klimatisierung. Das Ziel dieser Studie war es, den Effekt einer partiellen Resektion der unteren Nasenmuschel inklusive des Nasenmuschelkopfs auf die intranasale Luftströmung sowie Erwärmung und Befeuchtung der einströmenden Luft mit Computational Fluid Dynamics zu bestimmen.
Material und Methoden. Basierend auf dem computertomographischen Datensatz eines Patienten wurde ein bilaterales realistisches Nasenmodell erstellt. Eine einseitige Teilresektion der unteren Nasenmuschel auf der rechten Seite war bei erhaltener unterer Muschel links extern erfolgt. Zur Analyse der intranasalen Luftströmungsmuster, der Temperatur der eingeatmeten Luft und der Feuchtigkeitsverteilung wurde eine numerische Simulation durchgeführt.
Ergebnisse. Aufgrund der partiellen Resektion der unteren Nasenmuschel auf der rechten Seite einschließlich des Nasenmuschelkopfs war das Strömungsmuster im Vergleich zur Gegenseite deutlich verändert. Die Resektion führt zu einer zentrierten und höheren Geschwindigkeit im unteren Nasengang sowie zu einer reduzierten Erwärmung und Befeuchtung der eingeatmeten Luft im Vergleich zur nichtoperierten linken Nasenhöhle.
Schlussfolgerung. Die häufig durchgeführte Teilresektion des kaudalen Anteils der unteren Nasenmuschel kann bei extensiver Resektion zu einer gestörten intranasalen Klimatisierung führen. Daher sollte dieses Verfahren, wenn möglich, in der Rhinochirurgie vermieden und stattdessen ein schleimhautschonenderes Verfahren gewählt werden.

Schlüsselwörter

Nasenmuscheln · Chirurgische Operationsverfahren · Nasenhöhle · Nasenoperationen · Computersimulationen

Negative effects of stripe conchotomy on intranasal conditioning

Abstract

Objective. Partial resection of the caudal part of the inferior turbinate including the head is still performed in rhinosurgery ("stripe conchotomy"). However, extensive resections of the turbinate affect nasal airflow and intranasal conditioning. The aim of this study was to determine the effect of partial resection of the inferior turbinate including its head on intranasal air flow as well as warming and humidification of the inspired air by means of computational fluid dynamics.
Materials and methods. A bilateral, realistic nasal model was created based on the CT scan of a patient. A unilateral partial resection of the lower turbinate on the right side had been performed externally. A numerical simulation was performed to analyze intranasal air flow patterns, temperature, and humidity distribution of the inspired air.
Results. Due to the partial resection of the lower turbinate on the right side, the flow pattern was significantly altered compared to the opposite side. Resection leads to a centered and higher velocity in the inferior nasal meatus as well as to reduced heating and humidification of the inhaled air compared to the untouched left nasal cavity.
Conclusion. Partial resection of the caudal part of the inferior turbinate may lead to disturbed intranasal conditioning of inspired air if performed too radically. Therefore, if possible, this procedure should be avoided and a more gentle mucosal procedure chosen.

Keywords

Turbinates · Surgical procedures, operative · Nasal cavity · Nasal surgical procedures · Computer simulation

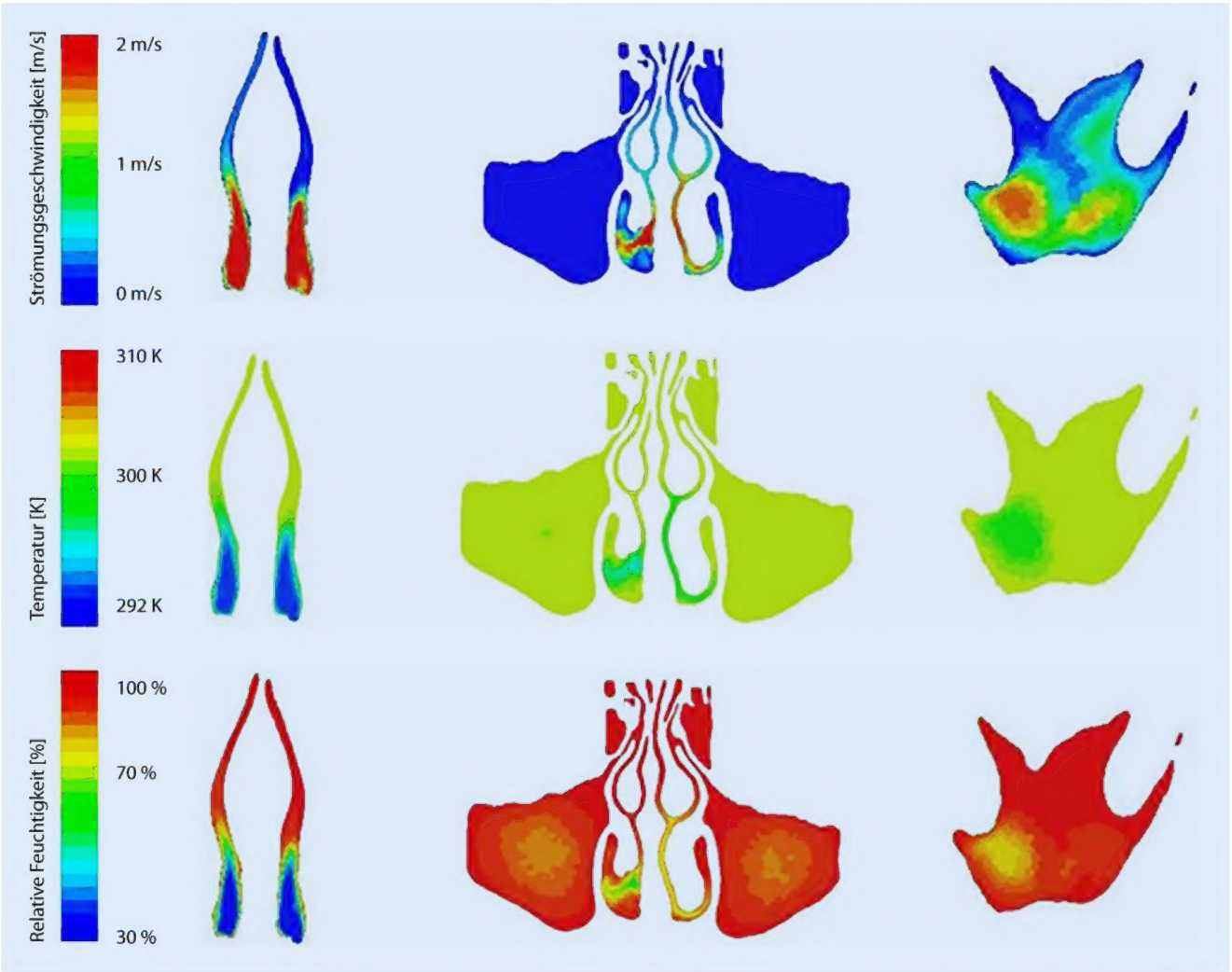

Abb. 4 ▲ Farblich dargestellte Verteilung von Strömungsgeschwindigkeit, Lufttemperatur und relativer Häufigkeit entlang der Nasenhaupthöhle mittels koronarer Schichten (anterior nach posterior)

Gegenseite erreicht worden. Neben der Schaffung eines geweiteten Spaltraums sollte allerdings der Erhalt der physiologischen Funktion der Nasenmuscheln und deren Funktion (Erwärmung und Befeuchtung der Atemluft) Hauptziel der Muschelchirurgie sein [18]. Die Balance zwischen einer ausreichenden Verringerung des Gewebes zur Linderung der obstruktiven Symptome und einer ausreichenden Erhaltung des Schleimhautgewebes zur Vermeidung von Krusten und Austrocknung der Mukosa ist entscheidende Voraussetzung in der Chirurgie der Nasenmuscheln. Eine partielle Resektion der unteren Muschel im Sinne einer Streifenconchotomie reduziert nicht nur den inspiratorischen Widerstand der Nase, sondern die respiratorische Funktion der Nase, da große Teile der Oberfläche bzw. Schleimhaut der Muschel entfernt werden.

Die Nasenklappe ist als physiologische Engstelle entscheidend für eine effiziente Befeuchtung und Erwärmung der eingeatmeten Luft [4, 5, 8–10]. Im Rahmen einer Hypertrophie der lateralen Nasenwand und der unteren Nasenmuschel kann es zu einer deutlichen Nasenatmungsbehinderung kommen. Grützenmacher et al. zeigten in verschiedenen Nasenmodellen mit unterschiedlichen Resektionsausmaßen, dass eine teilweise Reduktion der unteren und ggf. der mittleren Nasenmuschel zu einer Senkung des inspiratorischen Atemwiderstands mit trotzdem erhaltener physiologischer Verteilung der inspirierten Luft kommen kann, sofern die Resektion moderat ausfällt [19]. Lindemann et al. zeigten, dass sehr ausgedehnte Muschelresektionen zu einer gestörten intranasalen Luftströmung führen und damit die Klimatisierungsfunktion der Nase grundlegend gestört ist [4, 5, 9, 10, 20].

In einer klinischen Untersuchung von Tsakiropoulou et al. wurden 57 Patienten untersucht, bei denen eine partielle untere Muschelresektion durchgeführt wurde [21]. Punktuelle In-vivo-Messungen ergaben auch hier einen Abfall der Temperatur an der unteren und mittleren Nasenmuschel um 13 bzw. 19 %. Allerdings zeigte sich kein signifikanter Abfall der relativen Feuchtigkeit, was zu erwarten gewesen wäre. Hier hätte man die absolute Feuchte berechnet werden müssen, da

Obstruktion (Resistance)	Durchgängigkeit (Conductance)	Log 10 R (VR, Reff)	Flow bei 150 Pa [ccm/s]
keine	sehr gut	< 0.75	> 500
gering	gut	0.75 - 1.00	300 - 500
mäßig	mäßig	1.00 - 1.25	180 - 300
hoch	schlecht	1.25 - 1.50	60 - 180
sehr hoch	sehr schlecht	> 1.50	< 60

Standardwerte (ISOANA):

Zeit	15:32:02			15:38:48		
.	Rechts	Links	Total	Rechts	Links	Total
[Pa]	[ccm/s]	[ccm/s]	[ccm/s]	[ccm/s]	[ccm/s]	[ccm/s]
75 ins.	166	122	288	172 /3%	193 /58%	365 / 26%
150 ins.	290	217	507	325 /12%	330 /52%	655 / 29%
SQ 150		1.34			1.02	
75 ex.	-173	-129	-302	-215 /24%	-261 /102%	-476 / 57%
150 ex.	-257	-193	-450	-327 /27%	-385 /99%	-712 / 58%
SQ 150		1.33			1.18	
subject.	50	50		50	50	
log Reff Ins.	0.95	1.17		0.86	0.82	
log Reff Exp.	0.90	1.04		0.74	0.71	
log Reff total	0.92	1.11		0.80	0.77	
log VR ins.	0.89	1.14		0.86	0.84	
log VR exp.	0.93	1.09		0.76	0.74	
Freq.[1/min]	11.8	12.3		11.0	12.9	

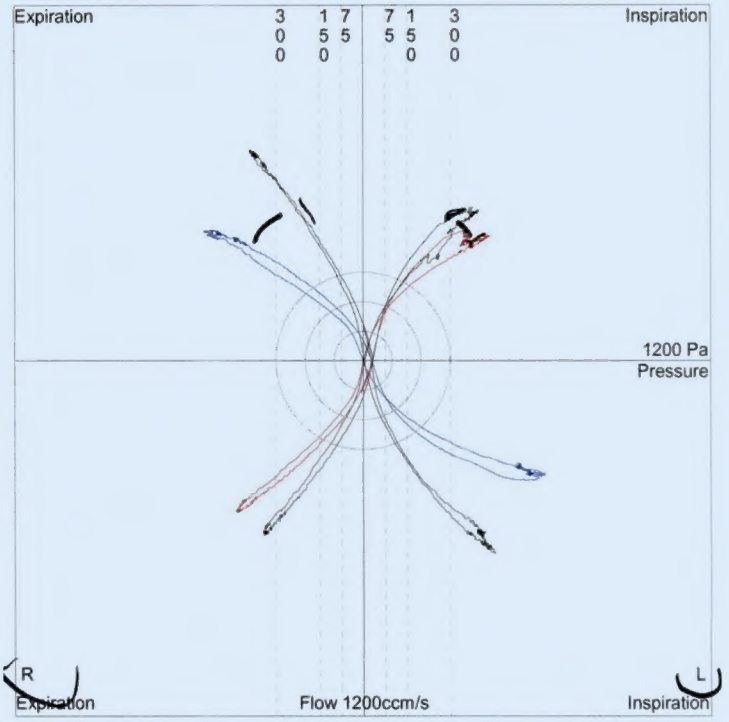

Abb. 5 ▲ 4-Phasen-Rhinomanometrie des Patienten nach extern erfolgter Streifenconchotomie. Deutlich erhöhter Fluss sowie verminderte Schwellung des Muschelkörpers rechtsseitig

diese den Feuchtigkeitsgehalt in Abhängigkeit von der Temperatur angibt. Eine In-vivo-Messung im Nasopharynx hätte vermutlich die erniedrigte Feuchtigkeit gezeigt. Dies ist allerdings nur schwer realisierbar, da sowohl die Sonde als auch das mit ihr verbundene Kabel die Messwerte beeinflussen. Eine Temperatur- oder Feuchtigkeitsverteilung in einem dreidimensionalen Raum ist mit In-vivo-Messungen nicht darstellbar, da jeweils nur einzelne Messpunkte erfasst werden.

Die aerodynamischen Auswirkungen einer Teilresektion im Sinne einer Streifenconchotomie der unteren Muschel unter Beteiligung des Muschelkopfs als Teil der Nasenklappe sind bislang nicht numerisch untersucht worden. Das Ziel dieser Studie war es, die Strömungsdynamik, die Lufttemperatur und -feuchtigkeitsverteilung nach partieller Turbinektomie im Sinne einer Streifenconchotomie über die gesamte Nasenhaupthöhle darzustellen.

Wie nachgewiesen wurde, ist die Lufttemperatur- und -feuchtigkeitsverteilung während der Einatmung deutlich verändert. Es zeigen sich signifikant niedrigere Werte für die Temperatur und die relative Feuchtigkeit der Atemluft auf der chirurgisch behandelten Seite des numerischen Nasenmodells. Dies kann durch eine gestörte Strömungsdynamik der Luft mit einer Umlenkung des Hauptluftstroms über den unteren Nasengang erklärt werden. Hinzu kommt der Verlust von Schleimhautoberfläche und Muschelvolumen als Wärmequelle. Dies führt zu einer verringerten Befeuchtung und Erwärmung der eingeatmeten Luft. Zudem hängt die Erhöhung der Lufttemperatur von der Strömungsgeschwindigkeit, der Querschnittsfläche und der Temperaturdifferenz zwischen der Luft und den Wänden der „Strömungsröhre" ab [22]. Lindemann et al. zeigten, dass in einer gesunden nichtoperierten Nase Regionen mit niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten Luftverwirbelungen um die Nasenmuscheln aufweisen, die zu einem deutlichen Anstieg der Lufttemperatur während der Inspiration führen [4]. Nach einer Streifenconchotomie mit Teilresektion des Muschelkopfs als Teil der Nasenklappe steigt die Strömungsgeschwindigkeit im unteren Nasengang deutlich an. Nur eine sehr schmale Luftschicht unmittelbar entlang der Nasenwand kommt in Kontakt mit der Schleimhautoberfläche. Das Zentrum des Luftstroms im gesamten unteren Nasengang bleibt kühl. In CFD-Simulationen zeigt sich deutlich, dass aufgrund der höheren Strömungsgeschwindigkeiten und des im Wesentlichen laminaren Luftstroms der zentrale Luftstrom nicht ausreichend mit der Schleimhautoberfläche in Kontakt kommt und sich damit erwärmen bzw. befeuchten kann. Der mittlere und obere Nasengang werden nach Streifenconchotomie nur noch unwesentlich durchströmt und nehmen daher nicht mehr an der Klimatisierung der einströmenden Luft teil (◘ **Abb. 4**). Diese Veränderungen der Luftgeschwindigkeit, -temperatur und -feuchtigkeit sind im Computermodell bis in den Nasopharynx nachvollziehbar. Die signifikante Abnahme der Lufttemperatur auf der operierten Seite führt zu einer Abnahme der maximalen Wasserdampfkapazität, was sich in einer Abnahme der relativen Luftfeuchtigkeit auf der rechten Seite äußert.

Beurteilung

Die aus Sicht der Autoren zu häufig durchgeführte Teilresektion der unteren Nasenmuschel mit Resektion des Muschelkopfs als Teil der Nasenklappe im Sinne einer Streifenconchotomie stört die intranasale Klimatisierung erheblich. Wird zu viel Muschelgewebe reseziert, führt dies nicht selten zu einem Empty-Nose-Syndrom, welches die respiratorische Funktion der Nase extrem einschränkt. Der Hauptluftstrom wird aufgrund des zu stark verminderten Nasenwiderstands ausschließlich auf den unteren Nasengang umgeleitet. Die radikale Reduktion des unteren Muschelvolumens führt zu einer „tunnelartigen" Luftströmung, die den Kontakt der Luft mit der Mukosa deutlich reduziert und zu erheblich erniedrigter Temperatur und Feuchtigkeit im Nasenrachen auf der betroffenen Seite führt. Da für die Atmung in den unteren Atemwegen eine ausreichende Atemluftkonditionierung durch die Nase erforderlich ist, kann sich eine Streifenconchotomie, insbesondere wenn diese beidseitig durchgeführt wird, negativ auf die nasale Physiologie auswirken. In Anbetracht der vorgestellten Ergebnisse der numerischen Simulation sollte die Streifenconchotomie zur Verkleinerung der Nasenmuscheln nicht durchgeführt werden. Stattdessen sind Methoden zu bevorzugen, welche die Schleimhautoberfläche möglichst intakt belassen und das Muschelvolumen nicht radikal verkleinern.

Fazit für die Praxis

- **Die Teilresektion der unteren Nasenmuschel mit Resektion des Muschelkopfs stört die intranasale Klimatisierung erheblich.**
- **Bei zu stark vermindertem Nasenwiderstand wird der Hauptluftstrom ausschließlich auf den unteren Nasengang umgeleitet.**
- **Die „tunnelartige" Luftströmung nach Streifenconchotomie führt zu vermindertem Kontakt der Luft mit der Mukosa.**
- **Dadurch kommt es zu erniedrigter Temperatur und Feuchtigkeit im Nasenrachen der betroffenen Seite.**
- **Daher sollte die Streifenconchotomie zur Verkleinerung der Nasenmuscheln nicht durchgeführt werden.**
- **Als geeigneter erscheinen Methoden, bei denen die Schleimhautoberfläche möglichst intakt belassen wird.**
- **Das Muschelvolumen sollte dabei nicht radikal verkleinert werden.**

Korrespondenzadresse

PD Dr. F. Sommer
Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, Universitätsklinikum Ulm
Frauensteige 12, 89075 Ulm, Deutschland
fabian.sommer@uniklinik-ulm.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. F. Sommer, A.-S. Grossi, M. O. Scheithauer, T. K. Hoffmann, F. Stupp, H. R. Briner und J. Lindemann geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

Literatur

1. Huizing E, De Groot J (2003) Functional Reconstructive Nasal Surgery
2. Passàli D, Passàli FM, Damiani V et al (2003) Treatment of inferior turbinate hypertrophy: a randomized clinical trial. Ann Otol Rhinol Laryngol 112:683–688
3. Scheithauer MO (2010) Surgery of the turbinates and "empty nose" syndrome. GMS Curr Top Otorhinolaryngol Head Neck Surg 9:Doc3. https://doi.org/10.3205/cto000067
4. Lindemann J, Keck T, Wiesmiller KM et al (2005) Numerical simulation of intranasal air flow and temperature after resection of the turbinates. Rhinology 43:24–28
5. Lindemann J, Brambs HJ, Keck T et al (2005) Numerical simulation of intranasal airflow after radical sinus surgery. Am J Otolaryngol 26:175–180
6. Sommer F, Lindemann J, Scheithauer M-O et al (2017) Nasenmuschelchirurgie. HNO 65:443–456. https://doi.org/10.1007/s00106-017-0349-5
7. Sinno S, Mehta K, Lee Z-H et al (2016) Inferior turbinate hypertrophy in rhinoplasty. Plast Reconstr Surg 138:419e–429e. https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000002433
8. Ozlugedik S, Nakiboglu G, Sert C et al (2008) Numerical study of the aerodynamic effects of septoplasty and partial lateral turbinectomy. Laryngoscope 118:330–334. https://doi.org/10.1097/MLG.0b013e318159aa26
9. Sommer F, Kröger R, Lindemann J (2012) Numerical simulation of humidification and heating during inspiration within an adult nose. Rhinology 50:157–164
10. Lindemann J, Rettinger G, Kröger R, Sommer F (2013) Numerical simulation of airflow patterns in nose models with differently localized septal perforations. Laryngoscope 123:2085–2089. https://doi.org/10.1002/lary.23653
11. Sommer F, Hoffmann TK, Mlynski G et al (2017) Dreidimensionale Analyse nasaler Physiologie. HNO 66:280–289. https://doi.org/10.1007/s00106-017-0443-8
12. Hol MK, Huizing EH (2000) Treatment of inferior turbinate pathology: a review and critical evaluation of the different techniques. Rhinology 38:157–166
13. Keck T, Lindemann J (2010) Numerical simulation and nasal air-conditioning. GMS Curr Top Otorhinolaryngol Head Neck Surg 9:Doc8. https://doi.org/10.3205/cto000072
14. Chen XB, Lee HP, Chong VF, de Wang Y (2010) Impact of inferior turbinate hypertrophy on the aerodynamic pattern and physiological functions of the turbulent airflow—a CFD simulation model. Rhinology 48:163–168. https://doi.org/10.4193/Rhin09.093
15. Pless D, Keck T, Wiesmiller KM et al (2004) Numerical simulation of airflow patterns and air temperature distribution during inspiration in a nose model with septal perforation. Am J Rhinol 18:357–362
16. Chen XB, Leong SC, Lee HP et al (2010) Aerodynamic effects of inferior turbinate surgery on nasal airflow—a computational fluid dynamics model. Rhinology 48:394–400. https://doi.org/10.4193/Rhin
17. Chen XB, Lee HP, Chong VF, de Wang Y (2010) Numerical simulation of the effects of inferior turbinate surgery on nasal airway heating capacity. Am J Rhinol Allergy 24:e118–e122
18. Scheithauer MO (2010) Surgery of the turbinates and "empty nose" syndrome. Laryngorhinootologie 89:S79–S102. https://doi.org/10.1055/s-0029-1246126
19. Grützenmacher S, Lang C, Mlynski G (2003) The combination of acoustic rhinometry, rhinoresistometry and flow simulation in noses before and after turbinate surgery: a model study. ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec 65:341–347
20. Lindemann J, Leiacker R, Sikora T et al (2002) Impact of unilateral sinus surgery with resection of the turbinates by means of midfacial degloving on nasal air conditioning. Laryngoscope 112:2062–2066
21. Tsakiropoulou E, Vital V, Constantinidis J, Kekes G (2015) Nasal air-conditioning after partial turbinectomy: myths versus facts. Am J Rhinol Allergy 29:e59–e62. https://doi.org/10.2500/ajra.2015.29.4151
22. Hering E, Martin R, Stohrer M (2012) Physik für Ingenieure. Springer, Berlin Heidelberg